

CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE A TRAVES DEL EMPLEO DE FUENTES NUEVAS Y RENOVABLES Y DEL USO RACIONAL DE LA ENERGIA*

Jaime A. Moragues⁺ y Alfredo T. Rapallini

RESUMEN

En base a la información existente, se realiza un análisis prospectivo de la contribución de las fuentes de energía de origen fósil al incremento del conjunto de gases de la atmósfera responsables del efecto invernadero y de la lluvia ácida, de acuerdo a la evolución de la demanda de energía, y su efecto sobre las variaciones de temperatura de la superficie terrestre.

Se discute la contribución de las fuentes nuevas y renovables y del uso racional de la energía (URE) a la mejora del medio ambiente, teniendo en cuenta en los costos el impacto medio ambiental no considerado normalmente.

Se presenta un estudio cuantitativo, realizado por otros autores, de la sustitución de fuentes convencionales por energías eólica y solar fotovoltaica, teniendo en cuenta el efecto medio ambiental.

Para la energía de biomasa se discuten las medidas que deben tomarse para su uso racional, tanto para su producción cuanto el consumo. En particular, la gestión de los bosques, dado que estos son la mayor fuente de absorción de CO₂ de la atmósfera.

En lo relativo al URE, se discuten las experiencias a nivel mundial que muestran claramente el ahorro de energía alcanzado a partir de la crisis energética de 1976, sin disminuir el crecimiento del producto bruto interno.

1.- INTRODUCCION

De acuerdo al estudio "Perspectiva energética mundial 2000-2020"⁽¹⁾ presentado en el 14th Congress of World Energy Conference, 1989, la biomasa como fuente de energía representa en la actualidad aproximadamente el 11 % del total de energía primaria a nivel mundial, contribuyendo solo con el 2.5 % del total en los países industrializados y con el 32 % en los países en desarrollo. Las demás fuentes de energía nuevas y renovables (principalmente solar y eólica) contribuyen solo con un 0,25 % al total de energía primaria. Para el año 2000 la biomasa participará con el 10 al 12 % del total de energía primaria a nivel mundial y con el 8 al 11 % para el año 2020. Para los países en desarrollo dicha participación se estima en 24-29 % y 19-23 % para los años mencionados respectivamente. Respecto a las demás energías nuevas y renovables, dicho estudio considera un máximo de participación del 0,68 % en el año 2000 y de 2,7 % para el 2020 a nivel mundial.

Los valores antes presentados no tienen en cuenta la inclusión de un fuerte gravamen en el costo de los energéticos tradicionales a fin de evitar la contaminación del medio ambiente que ellos producen, sobre todo los de origen fósil en lo referente al efecto invernadero y a la lluvia ácida.

El análisis de opciones para controlar la emisión de gases que afectan el medio ambiente está en un estado primario de desarrollo. Uno de los principales desafíos con que el hombre se va a introducir en el siglo 21 es la sustitución de los combustibles fósiles por otros menos contaminantes existiendo dos vías principales de solución, complementarias: el uso más racional de las fuentes existentes y el incremento del empleo de alternativas tales como las fuentes nuevas y renovables de energía (solar, eólica, biomasa, etc.) y la energía nuclear.

* Departamento Fuentes Renovables y Uso Racional de Energía. Comisión Nacional de Energía Atómica. Avd. del Libertador 8250. 1429 Buenos Aires

⁺ Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

En el presente trabajo vamos a discutir en forma sucinta el efecto sobre el medio ambiente del uso de los energéticos de origen fósiles, así como un análisis cualitativo de la contribución de las fuentes nuevas y renovables de energía y el uso racional de la energía a la mitigación de esos efectos.

Dado que desde el punto de vista de contaminación del medio ambiente tiene importancia el empleo en gran escala de la energía, consideraremos en particular dichos usos de las fuentes nuevas y renovables. No obstante, el empleo de las mismas en forma dispersa en aplicaciones individuales es de gran importancia y será tenido en cuenta en estudios posteriores.

2.- ACTIVIDAD HUMANA, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE

2.1.- EFECTO INVERNADERO Y LLUVIA ACIDA

La descarga energética solar con su amplio rango de irradiancia que abarca infrarrojo, visible y ultravioleta, sumada a la contribución infrarroja terrestre, harían imposible la vida sobre la tierra si no contáramos con la atmosfera, filtro óptico que absorbe, refleja o transmite en ambas direcciones las radiaciones recibidas. En valores medios, la atmósfera intercepta unos 230 W/m² de energía solar y emite hacia el espacio una cantidad equivalente del total que auto genera el planeta.

Del 80 al 90 % de la responsabilidad en el mantenimiento de ese equilibrio es debido a nubes, vapor de agua y dióxido de carbono (CO₂). El resto se distribuye entre el clorofluorocarbonados (CF_nCl_m), metano (CH₄), ozono (O₃) y N₂O. El CO₂ es responsable del 50 % del efecto total.

El conjunto de gases es transparente a la longitud de onda del espectro visible que llega del sol, pero opaco a la radiación infrarroja re-irradiada o emitida desde la tierra; esto es lo que se conoce como "efecto invernadero" de la atmosfera.

La alteración natural o inducida por el hombre de la composición atmosférica afecta el comportamiento de ésta y por lo tanto del clima y de la temperatura de la tierra. Si se continua la tendencia actual de producción de los cinco gases identificados como más importantes (CO₂, CH₄, N₂O, CFCl₃, CF₂Cl₂), se estima que la concentración combinada de los mismos, en términos del cambio potencial del clima, ser para mediado del próximo siglo el doble del nivel de contenido de CO₂ en la atmósfera que el que había en la época preindustrial. La temperatura global media se espera que aumente, en ese caso, entre 0,8 y 1,6 C°. De acuerdo al efecto de realimentación en el ciclo natural, se estima que dichas modificaciones del clima puede ocurrir en un intervalo de 50 a 100 años.

La producción y uso de energía se considera responsable de 2/3 de la producción de CO₂ debido a la actividad humana. Del flujo anual de metano a la atmosfera, 1/2 a 2/3 es generado por acción del hombre; del mismo solo 20 a 25 % es debido a combustión para la producción de energía. Por otro lado, los compuestos clorofluorocarbonados, responsables no solo del efecto radiativo sino también de la destrucción del O₃ estratosférico, y que son totalmente producidos por el hombre, no están directamente vinculados con la producción y uso de la energía pero están relacionados con el tema energético; por ejemplo el 49 % del CF₂Cl₂ producido es para refrigeración y unidades de aire acondicionado y el CFCl₃ es fundamentalmente empleado en la fabricación de espumas plásticas para aislación térmica o sea está vinculado con la reducción del uso de la energía.

En la "Toronto Climate Conference"⁽²⁾ realizada en Canadá en Junio de 1988, se hizo un llamado a los gobiernos e industrias del mundo para llevar adelante un programa que permita reducir la emisión de CO₂ en el año 2045 a un 20 % de los niveles de producción de 1988 como una meta global a fin de contribuir a la disminución del efecto invernadero.

La producción de óxidos de azufre y de nitrógeno es destacable como contaminante al incrementar el contenido de ácidos en las precipitaciones de lluvia y nieve, la denominada "lluvia ácida", de importancia regional. La lluvia normal es ligeramente ácida; la disolución del CO₂ de la atmosfera en el agua de lluvia hace que su ph normal sea de 5.60-5.65. Se han observado lluvias más ácidas en algunas partes del mundo y el incremento de acidez muestra asociación con algunos deterioros serios de la flora y la fauna.

La precipitación ácida es primariamente debida a la emisión de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO₂ y NO), los cuales reaccionan con el agua para formar ácidos sulfúrico y nítrico.

El SO_2 enviados a la atmósfera por acción del hombre (del orden de dos veces el producido naturalmente) deriva principalmente del quemado de combustible fósiles. Los óxidos de nitrógeno emitidos son originados sólo en cierto grado a partir del N contenido en los combustible; son fundamentalmente formados por la reacción entre el N y el O del aire causada por el proceso de combustión (la producción de NO es el 12 % y la del NO_2 es despreciable frente a la natural).

2.2.- ANALISIS PROSPECTIVO

La relación entre la actividad humana, la producción, transformación y uso de la energía y el incremento del así denominado efecto invernadero por aumento de la cantidad de CO_2 y otros gases radiativamente importantes en la atmósfera, puede analizarse, al menos cualitativamente, viendo la evolución del número de habitantes en el planeta, su demanda creciente de energía y el crecimiento de la producción de CO_2 y otros gases. Los modelos de análisis de estas relaciones pueden indicarnos como actuar para que no se produzca un incremento del efecto invernadero proporcional al incremento de la población y del consumo de energía.

En la Tabla I se dan los datos de referencia del estudio "Perspectiva energética mundial 2000-2020" presentado en el 14th Congress of World Energy Conference realizado en Montreal, Canadá, en septiembre de 1989, donde se analiza el crecimiento total de la población del mundo, así como el de los denominados países industrializados y países en desarrollo para el período 2000-2020. Asimismo se consideran dos escenarios de crecimiento económico (crecimiento anual promedio en moneda constante calculados para los períodos 73-85, 85-2000 y 2000-2020), uno moderado (M) y otro bajo (B).

En la Tabla II, se puede observar la demanda de energía primaria estimada para el mismo período, para los dos escenarios considerados, dando como referencia las demandas de 1973 y 1985.

En la Tabla III(a y b) se presentan las fuentes de energía primaria estimadas bajo las mismas condiciones que en la Tabla anterior. Como podemos observar del total de energía primaria, el 78 % proviene de combustibles fósiles en el año 1985, 77-76 % en el año 2000 (según sea escenario M o B) y 74-73 % en el año 2020.

La producción de CO_2 por unidad de energía (kg de carbono por tep) es más importante para el quemado de carbón (1010 kg/tep) que para el de petróleo (820 kg/tep) o gas (606 kg/tep). Si el daño por incremento del CO_2 en la atmósfera es confirmado, la perspectiva del uso de los combustibles fósiles debe ser fuertemente alterada.

En la Tabla IV se dan las fuentes de producción de CO_2 y de los demás gases radiativamente importantes de acuerdo al estudio de Wuebbles y Edmonds⁽³⁾. En el caso del CO_2 la producción debido a la actividad humana global es un pequeño porcentaje del flujo anual total; sin embargo, como el flujo natural se supone que está en equilibrio (balance neto de flujo igual a cero) solo el flujo debido a aquella actividad se considera responsable del aumento de la concentración de este gas en la atmósfera. Del total de flujo anual de metano emitido por actividades humanas, solo el 20 al 25 % es debido a procesos de combustión, proviniendo el resto de actividades de agricultura, silvicultura y otras fuentes. Como puede observarse en la Tabla IV si consideramos todos los gases analizados, la importancia de la actividad humana en la producción de los mismos varía considerablemente de acuerdo al gas seleccionado, siendo también diferente el peso de la producción debido a la generación transformación y uso de energía.

En la Tabla V se muestra la evolución, en partes por millón, de la concentración de los principales gases radiativos analizados, desde los valores considerados para la época pre-industrial (1850) hasta el año 2030, según la estimación generalmente aceptada por la comunidad científica⁽⁴⁾, en ausencia de una política energética que tenga en cuenta el efecto sobre el medio ambiente.

Asimismo, en la Tabla VI se reproducen datos parciales de los elaborados por J.R.Frisch⁽⁵⁾ para la "13th Congress of the World Energy Conferences", 1986, que muestran la evolución de la emisión de CO_2 en el período 1985-2020-2060, distribuidos regionalmente, así como la concentración esperada para cada período.

Si no hay efectos de realimentación del clima tales como aumento de la concentración del vapor de agua, cambios en la proporción o composición de las reacciones químicas en la atmósfera, reali-

TABLA I : DATOS DE REFERENCIA

	AÑO	1985	2000	2020
POBLACION (millones de habitantes)				
Países industrializados	a)	1260	1382	1493
Países en desarrollo	b)	3577	4765	6336
TOTAL		4837	6147	7829
CRECIMIENTO ECONOMICO [%]				
Países industrializados	c)			
	M d)	2.6	2.85	2.3
	B e)	2.6	2.2	1.5
Países en desarrollo	c)			
	M d)	4.65	4.7	4.2
	B e)	4.65	3.1	2.8
TOTAL	c)			
	M d)	3.0	3.2	2.8
	B e)	3.0	2.4	1.8

a) América del norte, Europa del este y del oeste, países industrializados del Pacífico, África del sur.

b) Latinoamérica, África del Norte, Medio Oriente, Sudeste Asiático, África al sur del Sahara, Asia del sur, Asia con planificación central.

c) Crecimiento anual promedio en US\$ constante, calculado para los períodos 1973-1985, 1985-2000, 2000-2020

d) Escenario moderado para el desarrollo económico.

e) Escenario bajo para el desarrollo económico.

TABLA II : DEMANDA DE ENERGIA PRIMARIA TOTAL

AÑO	1985				2000				2020			
	M a)		B b)		M a)		B b)		M a)		B b)	
	Mtep (EJ)	tep/h (GJ/h)	Mtep (EJ)	tep/h (GJ/h)	Mtep (EJ)	tep/h (GJ/h)	Mtep (EJ)	tep/h (GJ/h)	Mtep (EJ)	tep/h (GJ/h)	Mtep (EJ)	tep/h (GJ/h)
DEMANDA												
Países industrializados	4690	4.11	5350	4.25	6615	4.78	6175	4.47	7725	5.17	6650	4.45
Países en desarrollo	1475	0.55	2320	0.65	3645	0.77	3355	0.70	5900	0.92	4910	0.78
TOTAL	6165 (258)	1.51 (67)	7670 (321)	1.59 (67)	10260 (430)	1.57 (70)	9530 (399)	1.55 (65)	13525 (566)	1.75 (72)	11560 (464)	1.48 (62)

- a) M : Escenario moderado para el desarrollo económico. Crecimiento promedio en %, 3.0 (1985), 3.2 (2000), 2.8 (2020).
 b) B : Escenario bajo para el desarrollo económico. Crecimiento promedio en %, 3.0 (1985), 3.0 (2000), 1.8 (2020).
 c) América del norte, Europa del este y del oeste, Países industrializados del Pacífico, África del sur.
 d) Latinoamérica, África del norte, Medio Oriente, Sudeste Asiático, África al sur del Sahara, Asia del sur, Asia con planificación central.
 e) M= 10¹⁶; G= 10⁹; E= 10¹⁸

TABLA IIIa : FUENTES DE ENERGIA PRIMARIA

Mtep	1973						1985									
	Carbón	Petróleo	Gas natural	Hidro eléctrico	Nuclear	Nuevas energías	Biomasa	TOTAL	Carbón	Petróleo	Gas natural	Hidro eléctrico	Nuclear	Nuevas energías	Biomasa	TOTAL
Países industrializados	1266	2652	978	238	43	1	103	4891	1515	1837	1233	312	312	11	132	5352
Países en desarrollo	346	445	70	53	-	3	555	1472	601	660	155	133	12	8	748	2317
TOTAL	1612	2507	1048	291	43	4	658	6163	2116	2497	1388	445	324	19	880	7669

- a) América del norte, Europa del este y del oeste, países industrializados del Pacífico, África del sur.
 b) Latinoamérica, África del norte, Medio este, Asia sudeste, África al sur del Sahara, Asia del sur, Asia con planificación central.

TABLA IIIb : FUENTES DE ENERGÍA PRIMARIA

Mtep	2000 M										2000 B					
	Carbón	Petróleo	Gas natural	Hidro eléctrico	Nuclear	Nuevas energías	Biomasa	TOTAL	Carbón	Petróleo	Gas natural	Hidro eléctrico	Nuclear	Nuevas energías	Biomasa	TOTAL
Año																
a) Países industrializados	1795	2047	1825	395	585	45	130	6612	1650	1915	1509	369	520	25	145	6172
b) Países en desarrollo	1031	1041	356	247	52	25	895	3647	872	968	276	209	32	18	580	3355
TOTAL	2815	3088	1981	642	637	70	1025	10259	2522	2922	1785	576	552	43	1125	9527
Año																
a) Países industrializados	2314	1970	1730	450	930	175	125	7724	1925	1800	1530	430	720	85	160	6550
b) Países en desarrollo	1737	1537	625	563	183	190	930	5601	1313	1377	468	418	100	85	1150	4911
TOTAL	4051	3543	2355	1043	1113	365	1055	13525	3238	3177	1998	848	820	170	1310	11561

M : Escenario moderado para el desarrollo económico

B : Escenario bajo para el desarrollo económico

a) América del norte, Europa del este y del oeste, países industrializados del Pacífico, África del sur.

b) Latinoamérica, África del norte, Medio este, Asia sudeste, África al sur del Sahara, Asia del sur, Asia con planificación central

Tabla IV : ORIGEN DE LAS GASES

Gases (a)	Emisión anual total	Fuentes de emisión				Ecosistema natural
		Actividades humanas		Otras		
		Energía	Agricultura Silvicultura	Otras		
CO ₂ Pg C/año	115-177	4.5-5.5	0-2.6	0.1		111-169
CH ₄ Tg C/año	212-772	30-110	80-210	25-135		77-317
N ₂ Tg N/año	6-12	3-6	1-3	-		1-3
CF ₄ Tg CF ₄ /año	0.33	0	0	0.33		0
Cl ₂ F ₂ Tg Cl ₂ F ₂ /año	0.44	0	0	0.44		0

a) La cantidad de gases está expresado en peso de uno o varios de los elementos que los componen, emitidos en un año. Datos de Ref. 3
P = peto = 10⁻¹⁵, T = tera = 10⁻¹², g = gramo

Tabla V : EVOLUCION DE LA CONCENTRACION DE GASES

	Concentración (ppm)		
	1950	1980	2030
CO ₂	275	339	450
CH ₄	0.7	1.55	2.4
N ₂ O	0.28	0.3	0.4
CF ₄	0.0008	0.0015	0.006

ppm = partes por millón
Datos de Ref. 4

Tabla VI : EMISION DE CO₂ POR REGION PARA PERIODO 2020-2060

Año	1985					2020			2060									
	TOTAL	EE.UU. Canadá	Europa occidente N.Zeland.	Japón Australia	URSS Europa este	(A)	URSS Europa este	China en desarro.	Paises en desarro.	TOTAL	TOTAL							
Demanda energía Habi (Mtep.)	150	1788	1070	422	1636	501	916	6383	4685	2270	822	2570	10348	4170	2773	1389	3633	12705
Emisión CO ₂ (Mt. C/año)	120	1464	893	410	1349	495	754	5365	4182	1808	747	2076	8813	4442	2223	1250	3100	11015
Concentración CO ₂ (PPMV)								343					410-43					590-63

(A) EE.UU., Canadá, Europa oeste, Japón, Australia, N. Zelandia

Mtep= Millón de toneladas equivalente de petróleo.

Mt. C/año= Millón de toneladas de carbón por año.

PPMV= Parte por millón en volumen.

Datos de Ref. 5

mentación de nubes, cambios de albedo (a través, por ej., de cambios en la extensión de la cubierta de nieve o de bosques o desiertos), etc., la proporción de los gases radiativos principales en la atmósfera permiten estimar las variaciones de temperatura de la superficie terrestre. En la Tabla VII se presenta un resumen de los resultados de cambios de temperatura de la superficie terrestre para dos escenarios diferentes de futura concentración atmosférica de dichos gases, de acuerdo al trabajo de J.A. Edmonds, D.J. Wuebbles and M.J. Scott⁽⁶⁾, presentado a la "8th International Conference on Alternative Energy Sources", Florida, 1987. Se ha tomado un escenario de emisión constante de cantidades de gases (escenario de baja) y un escenario con la tasa de crecimiento de emisión actual (escenario de alta). Para ambos escenarios, la contribución relativa del CO₂ como una fracción del total de gases radiativos al efecto de aumento de temperatura, crece a través del tiempo, observándose un incremento de temperatura total de la superficie de la tierra para el año 2050 que va de 0.8 a 1.6 C°.

3.-CONTRIBUCION DE LAS FUENTES NUEVAS Y RENOVABLES Y DEL URE A LA MEJORA DEL MEDIO AMBIENTE

3.1.-ANALISIS GENERAL

En un estudio⁽⁷⁾ realizado recientemente en Alemania se cuantifica el costo de contaminación del medio ambiente asociado con el quemado de combustibles fósiles para la producción de electricidad. Si bien el estudio no tiene en cuenta el impacto total sobre el cambio climático, la conclusión es que el costo de la electricidad debería ser aproximadamente el doble si se incluye el costo total asociado con los problemas de contaminación del aire, los efectos de la lluvia ácida, etc.. La cuantificación del impacto total sobre el medio ambiente debería ser, por lo menos, del orden del considerado para la contaminación del aire y la lluvias ácida con lo cual se incrementa aún más el costo de la energía producida a partir de los combustibles fósiles.

Por lo tanto, el uso de los combustibles fósiles para la producción de energía, lleva aparejado un costo considerable producto de la contaminación ambiental, que no es cubierto por los precios del mercado de los servicios energéticos convencionales. Tradicionalmente se ha denominado a esto "costo social", el cual nunca fue económicamente evaluado y debe ser analizado frente al "beneficio social" que conlleva el uso de la energía.

La difusión en el mercado del uso de sistemas de aprovechamiento de fuentes nuevas y renovables tales como solar, eólica, biomasa, etc. es menor que el esperado en los años posteriores a la crisis energética. Esto nos indica que varias de las barreras para la expansión de estas fuentes energéticas han sido subestimadas y requieren un análisis más exhaustivo. En particular en la determinación de costos no se ha tenido en cuenta el impacto medio ambiental tanto de las fuentes convencionales cuanto de las nuevas lo cual puede hacer que éstas últimas sean económicamente convenientes.

En la Fig.1 se reproducen costos de energía de origen eólico, solar (con concentradores y por conversión fotovoltaica) y por sistemas convencionales utilizando gas y petróleo, de acuerdo a datos presentados por R. Lynette⁽⁸⁾. Vemos que si el costo de la electricidad producida por los sistemas convencionales se multiplica por un factor dos debido a los efectos nocivos producidos al medio ambiente como se dijo anteriormente, las nuevas fuentes de energía serían competitivas y se podría, a valores actuales del mercado, sustituir estas fuentes contaminantes por otras que no lo son.

Como parte de la planificación energética global, tanto nacional cuanto regional, se debe incluir la cuantificación macro y micro económica de los beneficios y peligros del uso de las fuentes convencionales y de las nuevas y renovables y del URE como recursos energético. Para ello es necesario analizar la situación actual del uso de recursos energéticos convencionales, y la que provendrá de un uso racional de éstos y del empleo, lo más intenso posible, de las nuevas fuentes de energía en reemplazo de aquellos.

Como una idea de las consideraciones a tener en cuenta, debe analizarse el costo total de mejora del ambiente (CTMA) el que debe incluir el costo de prevención (parcial o total) de la contaminación (CPC) por uso de nuevas fuentes y el costo de reparación del daño producido por la contaminación (CRDC) que todavía se está generando. Las inversiones en CPC se justifican si ello produce una disminución más que proporcional en el CRDC teniendo en cuenta en esto último el deterioro de la calidad de vida.

Tabla VII : CAMBIO DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE LOS GASES

Año	CH4	N2O	CFC13	CF2CL2	TOTAL
	a) 9C b) (%)	9C (%)	9C (%)	9C (%)	9C (%)
Escenario con tasa de crecimiento de emisión actual					
2000	0.09 18	0.01 3	0.06 12	0.12 23	0.49 100
2050	0.36 23	0.09 6	0.10 6	0.22 14	1.57 100
Escenario de emisión constante					
2000	0.02 6	0.02 6	0.04 13	0.08 24	0.34 100
2050	0.03 3	0.08 9	0.06 7	0.13 15	0.81 100

a) Incremento de la temperatura por aumento de concentración del gas

b) Se indica el porcentaje de cada gas dentro del conjunto de los cinco gases considerados, de acuerdo a la emisión de cada uno de ellos en los escenarios analizados.

Datos de Ref. 6

COSTO DE LA ENERGIA (cents/kWh)

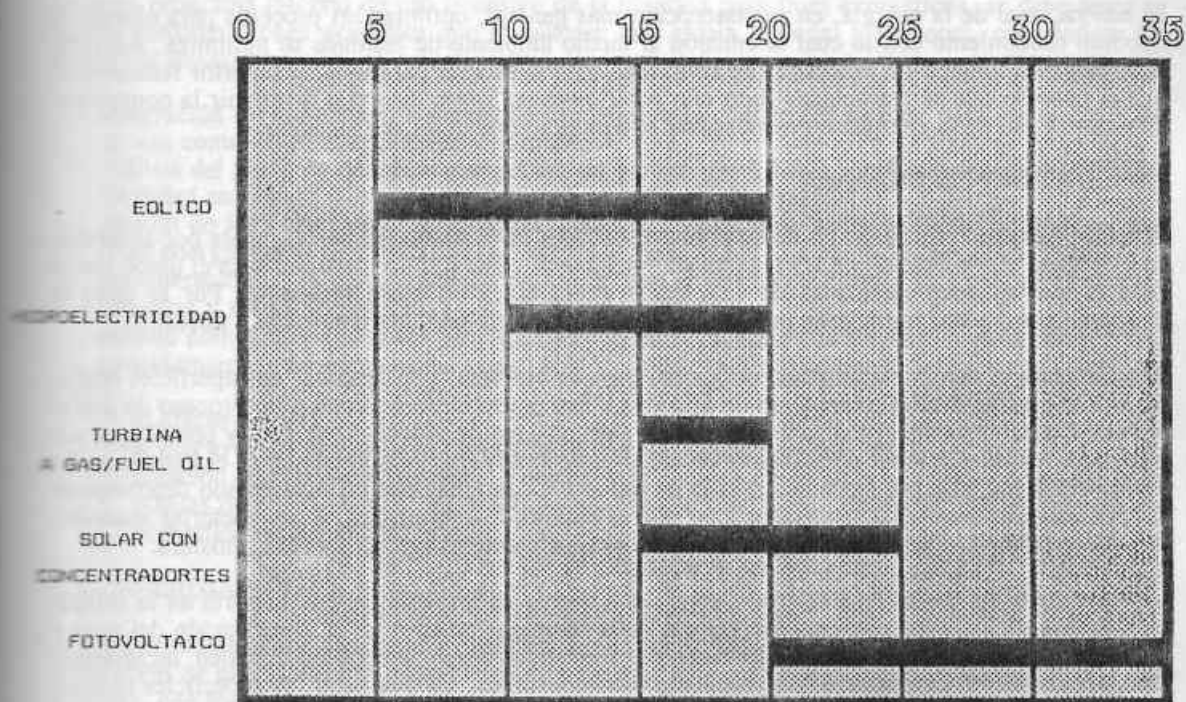


Figura 1: Costo comparativo de la energía de origen eólico, solar (con concentradores y con conversión fotovoltaica) y con sistemas convencionales utilizando gas y petróleo. Ref. 8

Basado sobre un análisis costo/beneficio, esto significa que el uso intensivo de las nuevas fuentes de energía debe cumplir con la relación

$$C/B = \frac{\text{Costo reparación daño producido por contaminación}}{\text{Costo prevención contaminación}} > 1$$

En la práctica, la cuantificación del CRDC en términos monetarios es una tarea muy difícil y por consiguiente incluye grandes incertezas. Debe analizarse, por lo tanto, otras alternativas para medir este parámetro. Uno de los problemas importantes a analizar es que el costo total por contaminación, incluyendo la extracción y procesamiento de los energéticos, y los beneficios del uso de la energía recaen generalmente sobre diferentes poblaciones. En el caso del combustible fósil, el costo de contaminación del medio ambiente por quemado de éste está distribuido regionalmente (lluvia ácida) y globalmente (cambio del clima) y, por lo tanto, no es solamente soportado por las poblaciones que se benefician con el uso de la energía generada con su quemado.

En general el aprovechamiento de las energías solar y eólica no producen contaminación al medio ambiente, al menos en lo referente a la contribución al efecto invernadero y lluvia ácida. En el caso particular de la energía solar las posibles contaminaciones identificadas son: durante el proceso de fabricación de los sistemas, sobre todo en el caso de las células fotovoltaicas, la modificación local del albedo, la transferencia de energía térmica del lugar donde se recoge al lugar donde se usa, la alteración estética del paisaje en caso de instalaciones de grandes potencias y la competencia del uso del terreno respecto a otras aplicaciones de éste. Las dos últimas son comunes al caso del aprovechamiento eólico; además se pueden citar para éste la interferencia con los sistemas de comunicación en caso del empleo de palas metálicas y el ruido producido por las turbinas.

El quemado de la energía de biomasa produce CO_2 ; éste es compensado por la absorción del mismo por los bosques dentro de un proceso de reciclado continuo de la biomasa (plantaciones energéticas) por lo que se considera no contaminante.

El uso racional de la energía, en su concepción más general, optimiza los procesos para obtener el máximo rendimiento con lo cual la emisión al medio ambiente de residuos se minimiza. Además, debe llevar al empleo de procesos que consuman menos energía para igual o superior rendimiento que el proceso que se reemplaza. Todo ello contribuye en forma directa a disminuir la contaminación por el uso de la energía sin menoscabar el beneficio que el mismo significa.

3.2.- ENERGIA DE BIOMASA

El CO_2 producido por quemado de combustibles fósiles es compensado parcialmente por absorción en el océano y por fijación en las plantas vía fotosíntesis. Este último mecanismo es el único viable para extraer grandes cantidades de CO_2 de la atmósfera a un costo razonable. Por lo tanto la biomasa es un medio importante para retardar el aumento global de la temperatura terrestre.

Actualmente, el uso indiscriminado de los recursos de biomasa, y la limpieza de superficies boscosas por quemado para el incremento de áreas para uso agropecuario, llevan a un proceso de deforestación descontrolada que disminuye, por un lado, el área de absorción de CO_2 y constituye, por otro, una fuente adicional de aumento del CO_2 en la atmósfera. Adicionalmente, el carbón en las plantas es fijado sólo por período limitado de tiempo. Cuando las plantas mueren son descompuestas por bacterias aeróbicas, formando CO_2 que es emitido a la atmósfera, o por bacterias anaeróbicas que producen, además de CO_2 , metano que es igualmente peligroso para la atmósfera.

Considerando los países en desarrollo donde ésta fuente es importante, una mejoría en la utilización de los suelos y los recursos energéticos de la biomasa, basados en la tecnificación del agro y en la mejora tecnológica de los sistemas de aprovechamiento energético, pueden incrementar considerablemente la producción de alimento y combustibles, sin aumentar las superficies destinadas a su producción, o sea, sin afectar nuevas zonas boscosas, con el consiguiente impacto positivo sobre el ambiente. Además, en estos países se requiere no repetir experiencias desafortunadas realizadas en el pasado donde la explotación intensiva de la biomasa, especialmente los bosques, fueron realizadas para exportar y no para satisfacer necesidades locales, teniendo dichas explotaciones las características de enclaves aislados del resto del sistema socio-económico del país.

Por lo tanto, un uso racional de la biomasa como fuente de energía, tanto en los aspectos de su producción cuanto de su consumo, va a permitir que esta siga siendo un combustible ideal para satisfacer los requerimientos de numerosos países por décadas, presentando además, una fuente importante de mejora de las condiciones ecológicas a través de:

- mejoras en la cantidad y calidad de los productos forestales, mediante un manejo racional de los bosques,
- mejora y conservación de los suelos fértiles,
- mejora en la retención del agua de lluvia en los bosques,
- aumento de la cubierta vegetal y, por ende, del potencial de fijación de CO₂ de la atmósfera.

El manejo de la biomasa como fuente de energía para contribuir a la mejora del medio ambiente y en particular la gestión de los bosques, dada la magnitud de su importancia ecológica, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Incrementar la superficie de la cubierta vegetativa a fin de aumentar la capacidad de absorción del CO₂ de la atmósfera,
- usar la biomasa para fines energéticos realizando una reposición programada, evitando así la muerte natural de la foresta y la descomposición aeróbica y anaeróbica de la misma, con la consiguiente producción de dióxido de carbono y de metano,
- aumentar la fertilidad de los suelos como un prerequisite para incrementar la actividad de fijación de C en las plantas,
- aumentar la retención del agua de lluvia mediante un diseño inteligente de plantación de los bosques,
- prevenir la erosión de los suelos y la pérdida de fertilidad de las tierras lo cual es necesario para incrementar las superficies verdes,

En general cuando la biomasa, y en particular la madera, se utiliza para fines energéticos, se toman en cuenta consideraciones micro-económicas y de importancia doméstica. Para llevar adelante un programa integral de uso intensivo de la biomasa para fines energéticos, se debe tener en cuenta consideraciones generales que involucren una escala regional y nacional, cubriéndose los siguientes tópicos:

- integración de la bioenergía dentro de la planificación energética de un país, de una región, de una comunidad, e incluso de una empresa,
- análisis del perfil de demanda energética, en tiempo y calidad y consistentemente de la disponibilidad en tiempo y espacio del recurso energético de biomasa,
- estudio de los costos de la producción, cosecha, transporte y almacenaje de la biomasa para fines energéticos,
- consideración de la transformación de la biomasa en forma de energía útil para el empleo en industria y sector domésticos,
- estudio comparativo de costo-beneficio del uso de la biomasa con respecto a otros energéticos,
- consideraciones económicas del efecto ecológico del uso de la biomasa, teniendo en cuenta

- * el efecto del CO₂,
- * el efecto sobre el uso de la tierra (fertilidad, retención de agua, etc.),
- * creación de nuevas actividades industriales y fuentes de trabajo (por eje. construcción de plantas de potencia para quemado de biomasa, equipamiento de mayor eficiencia para uso doméstico de la biomasa, etc.).

3.3.- ENERGIA EOLICA

A nivel mundial existe una amplia experiencia en el aprovechamiento de la energía eólica para la generación de electricidad en gran escala. En EE.UU. hay en operación aproximadamente 17.000 turbinas, que hacen un total de 1.500 MWe, entregando energía a la red. La mayoría de las plantas de potencia eólica están instaladas en tres áreas del estado de California: Altamont Pass al este de San Francisco, Tehachapi Mountains al norte de Los Angeles y San Geronio Pass al este de Los Angeles.

En un estudio realizado por EPRI⁽⁹⁾ (Electric Power Research Institute) sobre el funcionamiento de las plantas antes mencionadas, se presentan valores del costo del kWh en función del factor de capacidad de las plantas y del costo de inversión, que se muestra en la Fig. 2. Como puede observarse, los mismos son totalmente comparables con los producidos con las fuentes convencionales de energía.

En un trabajo recientemente publicado⁽¹⁰⁾ se comparan los costos de la producción de electricidad a partir de fuentes convencionales de energía y a partir de la energía eólica, incluyendo, en ambos casos, los costos de contaminación del medio ambiente. Si bien solo se toma el efecto directo sobre el aire, la flora, la fauna y el hombre, sin considerar el efecto global sobre la atmósfera, permite apreciar la importancia de dicho análisis en lo referente a los costos y por consiguiente en la penetración en el mercado de las nuevas fuentes de energía.

En lo referente a la contaminación producida por los sistemas de aprovechamientos de energía eólica, se analizaron las debido al uso de la tierra para las instalaciones y su competencia para otros usos, la deformación del paisaje por instalación de numerosas máquinas como en las granjas eólicas, el ruido producido por las turbinas y la interferencia con receptores de radio y TV. La ocupación de tierras no es un factor determinante pues en general se utilizan zonas donde no es posible realizar otro tipo de aprovechamientos y, en los casos en que se pueden usar para agricultura o ganadería, la pérdida de superficie útil no supera el 10 % de la superficie total. El aspecto estético no fue evaluado pues no es una variable que se toma en cuenta en las centrales convencionales; asimismo el efecto de interferencia es despreciable dado que el 90 % de las turbinas tienen palas de plástico. El único efecto importante es el ruido generado por las turbinas lo cual produce disturbios en las personas que viven cerca de las instalaciones.

En las Figs. 3.a y 4.a se muestra el costo del kWh para diferentes años en Alemania para los sistemas convencionales y los eólicos. Para los primeros la curva inferior es para el escenario de menor precio sin tener en cuenta efectos de contaminación, con un crecimiento del 2 % anual para la energía a ser sustituida, y las otras dos curvas son el límite inferior y superior de apreciación del incremento de costo por dichos efectos. Para el aprovechamiento de la energía eólica han generado dos curvas; una está basada en los precios en Dinamarca en el periodo 1979-1985 (la curva de menores valores) y la otra en los pocos datos existentes en Alemania en el periodo 1980-1986, teniendo en cuenta en ambos los efectos de contaminación antes mencionados.

En las Figuras 3.b y 4.b se muestran los tiempos en que se produce la penetración del mercado por parte de la energía eólica (igual costo de la electricidad producido por uno y otro sistema) para Alemania y Dinamarca. Se toma como punto de partida el 5 % de dicha penetración. Como puede verse hay un corrimiento importante en las fechas de comienzo de penetración de mercado si se consideran los efectos del medio ambiente para todas las fuentes de energía.

3.4.- ENERGIA SOLAR

En EE.UU. existe desde 1984 experiencia en la producción comercial de electricidad por conversión de energía solar en térmica haciendo uso de concentradores cilíndricos parabólicos. Actualmente se encuentra en operación, entregando energía a la red, un grupo de centrales pertenecientes a la Compañía de Electricidad Southern California Edison, con una potencia total de 200 MWe.

Asimismo, el total de sistemas fotovoltaicos instalados a nivel mundial hasta fin de 1988, considerando tanto los distribuidos cuanto los centralizados, fue de 115 MWpico.

En la Fig. 1 se dan intervalos de costos de la energía producida por estos dos sistemas. En el caso de conversión fototérmica, para los nuevos módulos de 80 MWe que se están construyendo para la Southern California Edison Company, los costos que se estiman son de 8 a 10 centavos de dólar.

Al igual que en el caso de la energía eólica, Hohmeyer⁽¹⁰⁾ ha realizado un análisis de los costos comparativos de la generación de electricidad por sistemas convencionales y por conversión fotovoltaica de la energía solar, teniendo en cuenta los efectos de contaminación del medio ambiente. En la Fig. 5 se reproducen los resultados presentados. Las curvas para las centrales convencionales son iguales que para el caso discutido en la Sección anterior. Para la conversión fotovoltaica se analizó el efecto del uso del suelo, la contaminación debida a la fabricación del sistema solar y el riesgo de accidente del personal que realiza mantenimiento.

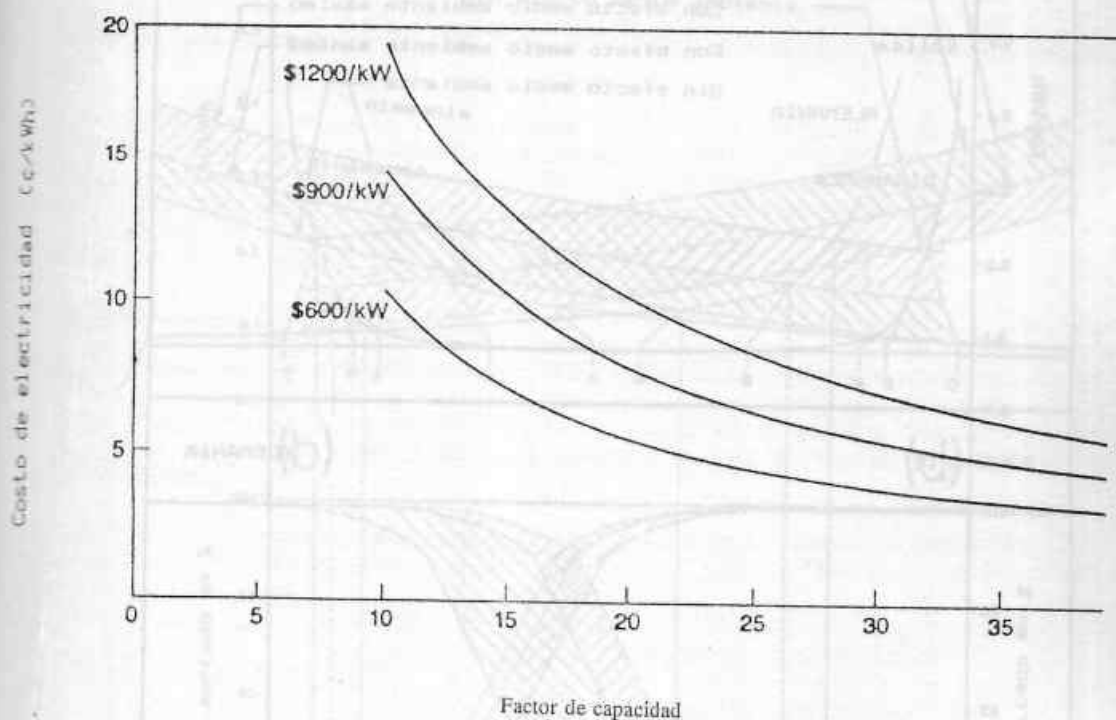


Figura 2: Costo de la electricidad generada por centrales eólicas en función del costo de inversión (US\$/kW), el factor de capacidad (%) y el costo de operación y mantenimiento. Los datos mostrados están basados en una vida media de las centrales de 20 años, una tasa de retorno de 12 %, y un costo de mantenimiento de 1 c/kW. Ref. 9

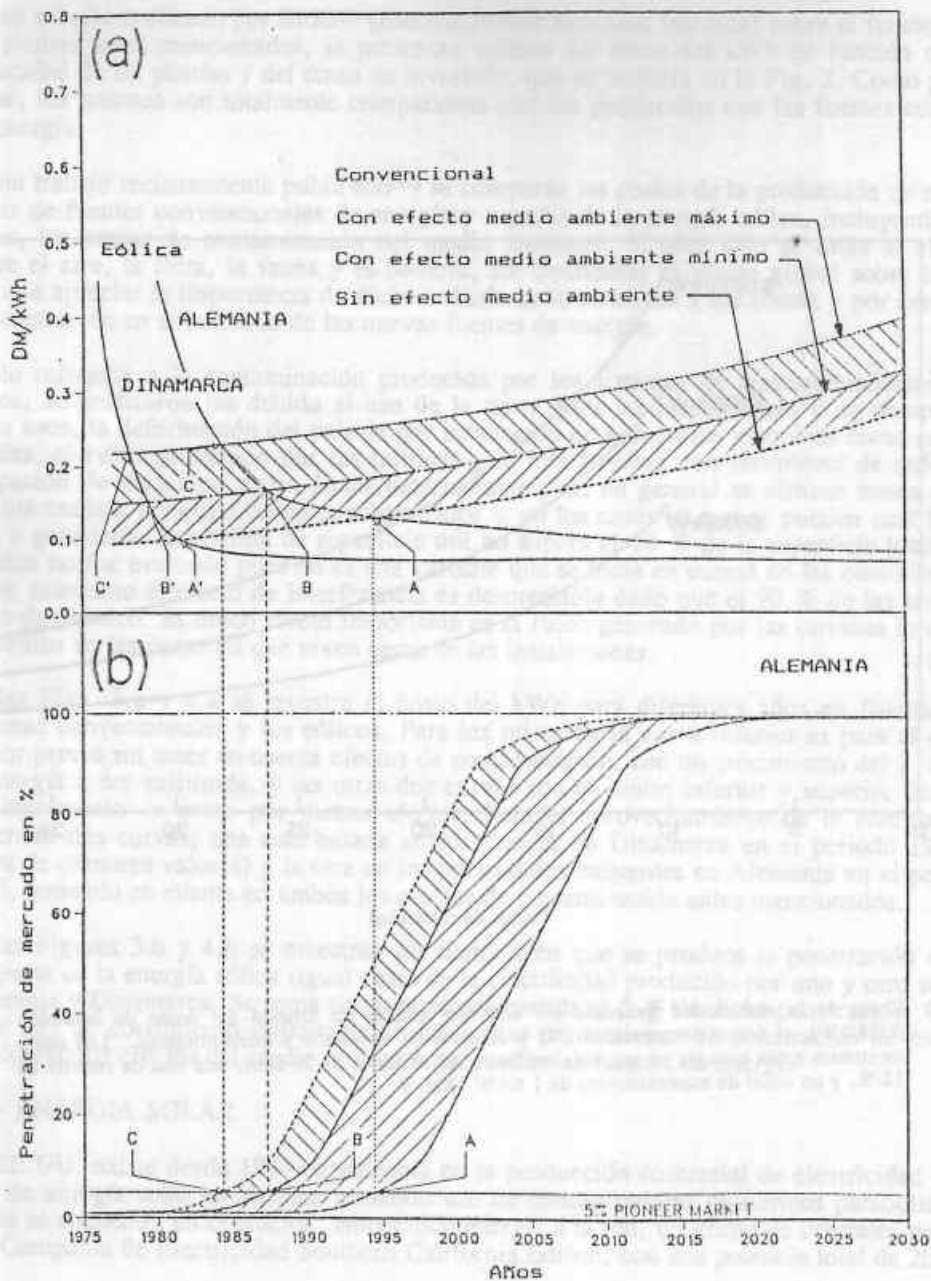


Figura 3: (a) Costo del kWh en Alemania para sistemas convencionales y eólicos. Para los primeros la curva inferior es sin considerar contaminación, con un crecimiento del 2 % anual; las otras dos son el límite inferior y superior del costo incrementado por efecto de contaminación. Para energía eólica, la curva inferior está basada en los precios de Dinamarca 1979-1985 y la superior en los de Alemania 1980-1986, teniendo en cuenta en ambas los efectos de contaminación.

(b) Tiempos de penetración del mercado por parte de la energía eólica (igual costo de la electricidad para sistemas convencionales y eólicos) para Alemania. Se toma como punto de partida el 5% de dicha penetración. Ref. 10

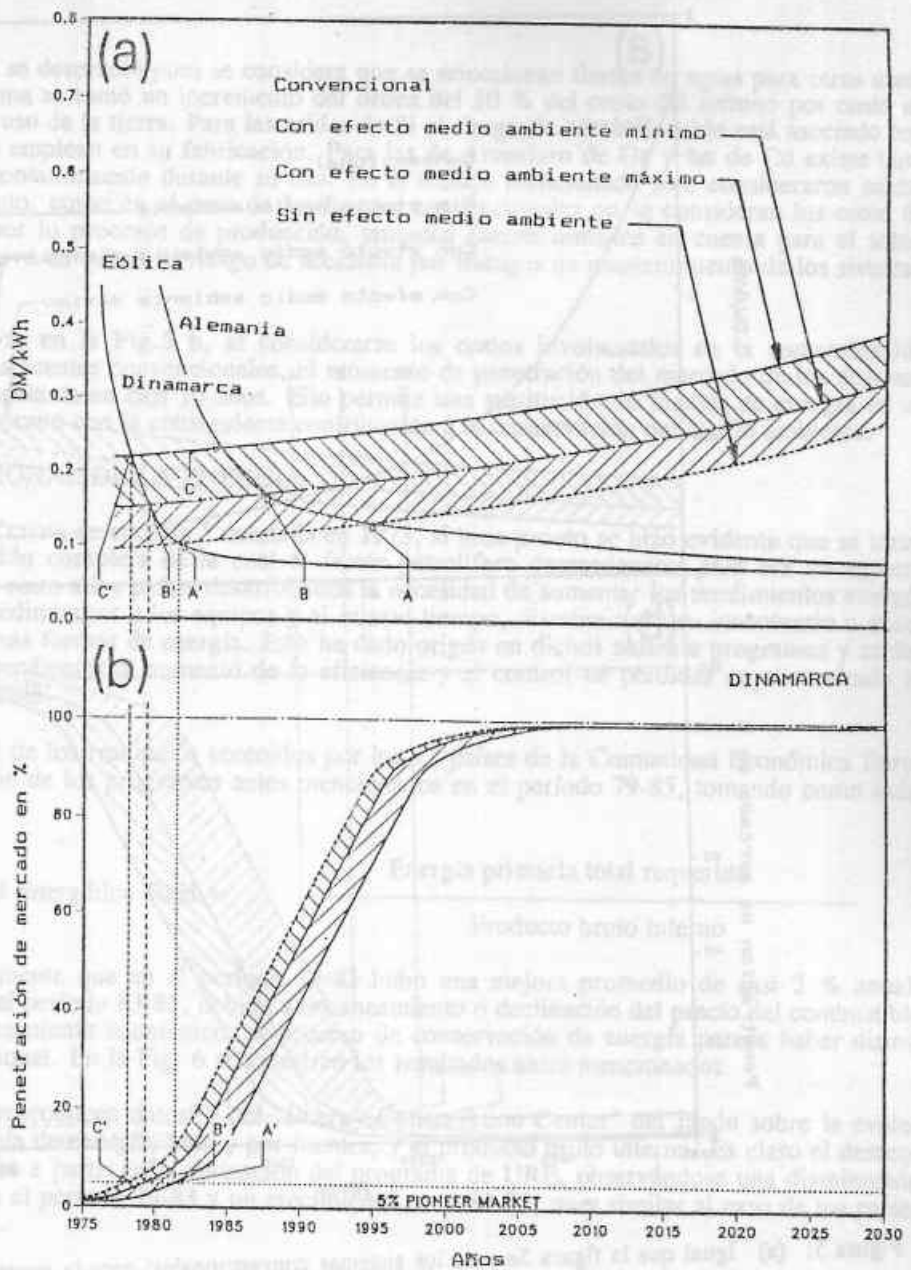


Figura 4: (a) Igual que figura 3a
 (b) Igual que figura 3b para Dinamarca

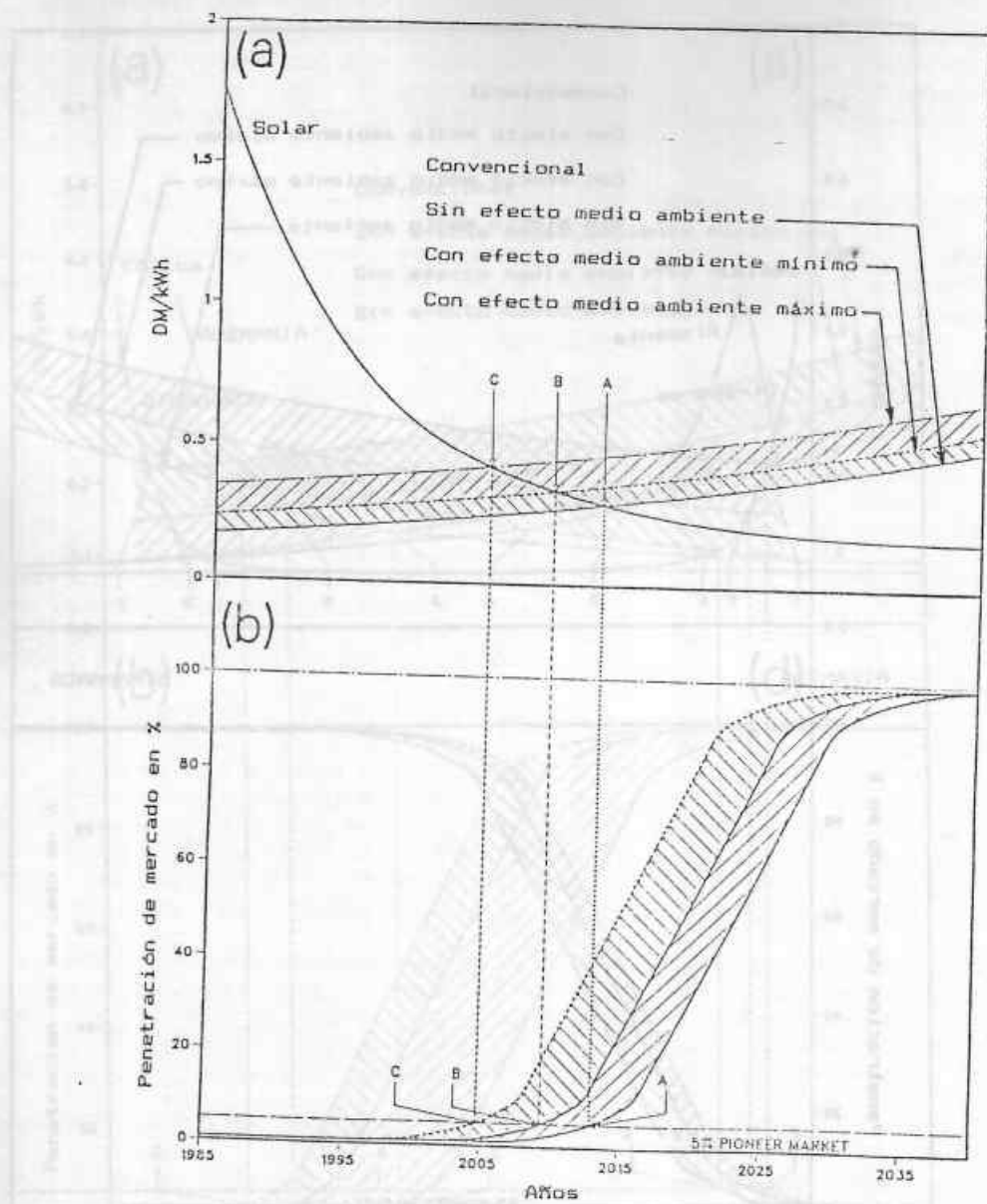


Figura 5: (a) Igual que la figura 3a para los sistemas convencionales; para la generación de electricidad por conversión fotovoltaica de la energía solar, se incluyó el incremento por contaminación del ambiente.
 (b) igual que la figura 3a para conversión fotovoltaica de la energía solar en electricidad.

El primer punto se despreció pues se considera que se seleccionan tierras no aptas para otros usos; de cualquier forma se tomó un incremento del orden del 10 % del costo del terreno por costo de oportunidad del uso de la tierra. Para las celdas de Si el riesgo de contaminación está asociado con los gases que se emplean en su fabricación. Para las de Arseniuro de Ga y las de Cd existe también riesgo de contaminación durante su uso. En el trabajo mencionado solo consideraron celdas de Si; por lo tanto, como en el caso de las fuentes convencionales no se consideran los costo de contaminación por lo procesos de producción, tampoco fueron tomados en cuenta para el solar. Finalmente, se tuvo en cuenta el riesgo de accidente por trabajos de mantenimiento de los sistemas solares.

Como se observar en la Fig.5 b, al considerarse los costos involucrados en la contaminación producida por las fuentes convencionales, el momento de penetración del mercado de los sistemas fotovoltaico se adelanta en casi 10 años. Ello permite una sustitución de fuentes de energía en un período más temprano con la consiguiente contribución a la conservación del medio ambiente.

3.5.- USO RACIONAL DE LA ENERGIA

La denominada "crisis de energía " desatada en 1973, si bien pronto se hizo evidente que se trataba de una cuestión compleja de la cual el factor petrolífero desencadenante sólo era un aspecto parcial, hizo ver claro a los países desarrollados la necesidad de aumentar los rendimientos energéticos de los procedimientos y los equipos y al mismo tiempo, disminuir el uso innecesario o excesivo de las diversas formas de energía. Esto ha dado origen en dichos países a programas y acciones prioritarias tendientes al aumento de la eficiencia y al control de pérdidas cuyo resultado se han visto claramente.

En un análisis⁽¹¹⁾ de los resultados obtenidos por los 12 países de la Comunidad Económica Europea por aplicación de los programas antes mencionados en el período 79-85, tomando como indicador la

$$\text{Intensidad Energética Total} = \frac{\text{Energía primaria total requerida}}{\text{Producto bruto interno}}$$

se muestra claramente que en el período 79-83 hubo una mejora promedio de casi 2 % anual, mientras que en el período 83-85, debido al estancamiento o declinación del precio del combustible y final del estancamiento económico, el proceso de conservación de energía parece haber disminuido en 0,5 % anual. En la Fig. 6 se muestran los resultados antes mencionados.

En la Fig. 7 se reproducen datos⁽¹²⁾ del "Energy Conservation Center" del Japón sobre la evolución de la demanda de energía, total y por fuentes, y el producto bruto interno. Es claro el desacople que se produce a partir de la aplicación del programa de URE, observándose una disminución de la demanda en el período 79-83 y un crecimiento en el 83-87, muy similar al caso de los países de la Comunidad.

Este conjunto de resultados muestra claramente que el uso racional de la energía, tanto en el sentido de reducir la intensidad de uso de la energía en diversas actividades, como en un sentido más amplio de desplazar las actividades a otras menos energo intensivas, permiten reducir el impacto total al medio ambiente al disminuir el uso de los energéticos, sin afectar el producto bruto interno de un país cuando se aplican intensamente éstas medidas. Cada kWh de energía ahorrada se puede mirar como un kWh de energía que no debe ser producido y por lo tanto no se incrementa la contaminación del medio ambiente.

Durante la crisis energética antes mencionada, se vio también claramente que no es posible una penetración rápida en el mercado de las nuevas fuentes de energía. Este proceso lleva tiempo y requiere inversiones considerable. El URE contribuye a dar el tiempo necesario para el desarrollo de estas nuevas fuentes sin que llegue hacer acuciante el problema de la contaminación del medio ambiente.

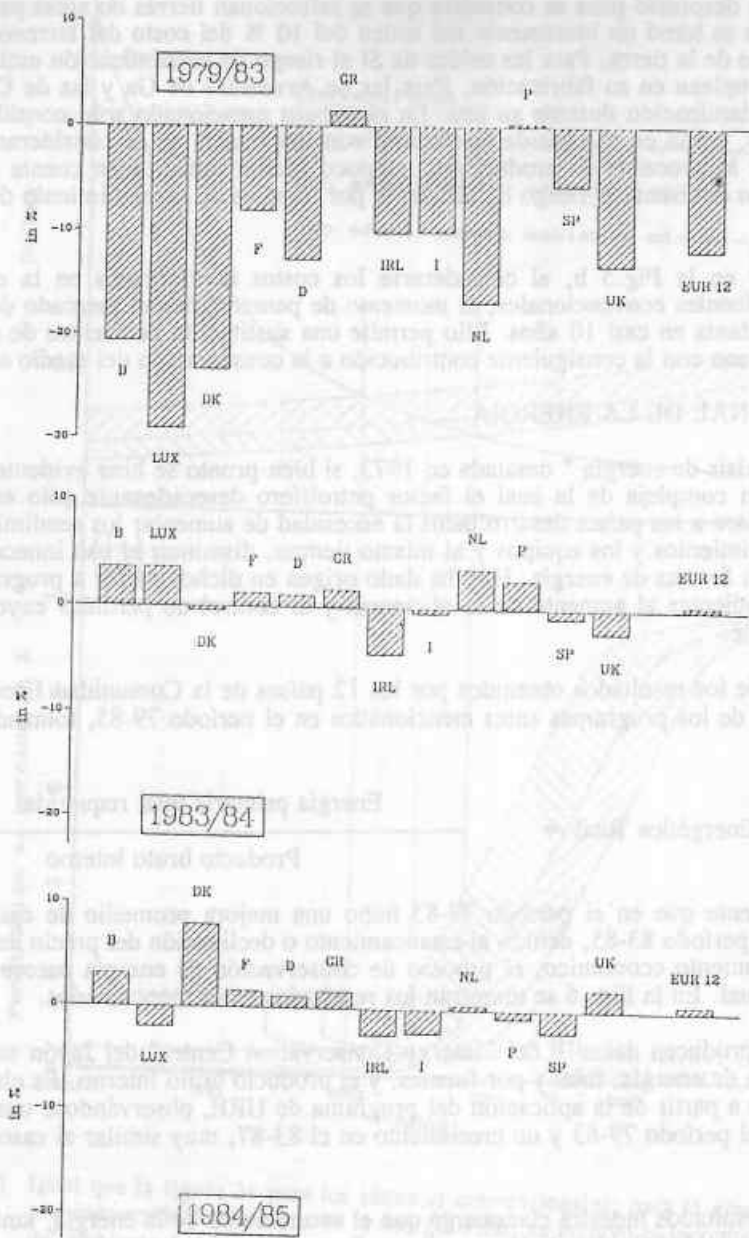


Figura 6: Cambios en la intensidad energética total de los países miembros de la CEE para el período 1979-1985 (en términos del cociente entre el consumo de energía primaria y el PBI). Ref.11

- | | | | |
|---------------|--------------|---------------|-----------------|
| B: Bélgica | F: Francia | I: Italia | UK: Reino Unido |
| DK: R.F.Alem. | GR: Grecia | L: Luxemburgo | P: Portugal |
| D: Dinamarca | IRL: Irlanda | NL: Holanda | SP: España |

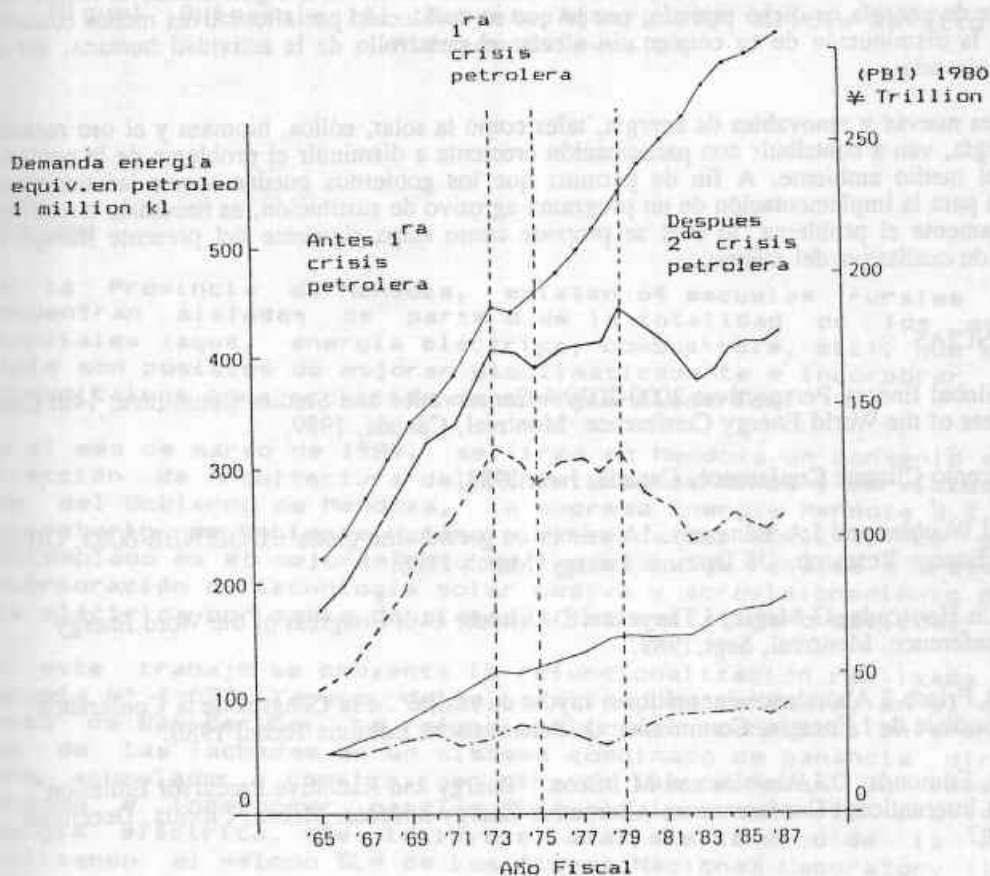


Figura 7: Evolución de la demanda de la energía, total y por fuentes, y del producto bruto interno del Japón. Ref. 12

4.- CONCLUSION

El impacto adverso al medio ambiente del uso de la energía se considera cada día más evidente a nivel mundial. En las próximas dos décadas los incrementos del cambio del clima por éste efecto se hará más notable. El uso intensivo de los combustibles fósiles va a seguir siendo la fuente más importante de energía en dicho período, por lo que su sustitución por alternativas menos contaminantes, o la disminución de su empleo sin afectar el desarrollo de la actividad humana, ser de prioridad elevada.

Las fuentes nuevas y renovables de energía, tales como la solar, eólica, biomasa y el uso racional de la energía, van a contribuir con participación creciente a disminuir el problema de la contaminación del medio ambiente. A fin de permitir que los gobiernos pueden tomar las decisiones necesarias para la implementación de un programa agresivo de sustitución, es necesario cuantificar económicamente el problema, lo cual se propone como etapa siguiente del presente trabajo de presentación cualitativa del mismo.

REFERENCIAS

- 1) "Global Energy Perspectives 2000-2020." Conservation and Studies Committee, 14th Congress of the World Energy Conference, Montreal, Canadá, 1989.
- 2) Toronto Climate Conference, Canadá, June 1988.
- 3) D.J.Wuebles and J.A.Edmonds. "A primer on greenhouse gases". DOE/NBB-0083. Office of Energy Research, US Dpto. of Energy. March 1988.
- 4) J.Ch.Hourcade, G.Megie, J.Theys and D.Crimee. 14th Congress of the Word Energy Conference. Montreal, Sept.1989.
- 5) J.R.Frisch. " Abondance énergétique: mythe ou réalité". 13e Congres de la Conference Mondiale de l Energie, Commission de Preservation. Editions Techni 1986.
- 6) J.A.Edmonds, D.J.Wuebles and M.J.Scott. "Energy and Radiative Precursor Emission". 8th International Conference on Alternative Energy Sources. Miami, Florida, December 1987.
- 7) Helmut Klasiss. OFNLR.FRGF. Trabajo presentado a la UNEP. MAP Training Seminar, Almería, España, Noviembre 1988.
- 8) R. Lynette, Wind Energy Applications and Training Symposium, California, EE.UU., 1988.
- 9) J.Schaeuer. "Wind Systems", EPRI Journal, July/August 1989, pag.49.
- 10) Olav Hohmeyer. "Social Cost of Energy Consumption" Document N° EUR 11519. Commission of the European Communnities. Springer-Verlag-Berlin-Heidelberf. 1988.
- 11) "Energy Conservation Indicators". Commission of the European Communnities. ECSC.EEC EAEC Brussels-Luxembourg, 1987.
- 12) "Energy Conservation in Japan". Tha Energy Conservation Center, Japan, 1988.